不同锰水平饲粮添加枯草芽孢杆菌对12～16周龄五龙鹅生长性能、屠宰性能、抗氧化能力及血清生化指标的影响

任 民 王宝维* 葛文华 张名爱 岳 斌 郑惠文 张洋洋 张泽楠[1]
（青岛农业大学优质水禽研究所，国家水禽产业技术体系营养与饲料功能研究室，青岛 266109)

摘 要：本试验旨在研究不同锰水平饲粮添加枯草芽孢杆菌对12～16周龄五龙鹅生长性能、屠宰性能、抗氧化能力及血清生化指标的影响，旨在探索一种低锰饲粮配制的方法。试验选用12周龄五龙鹅360只，随机分为6个组，每组6个重复，每个重复10只鹅（公母各占1/2）。Ⅰ组为适宜锰添加组（锰添加水平为105 mg/kg，未添加枯草芽孢杆菌），Ⅱ～Ⅵ组为枯草芽孢杆菌添加组（枯草芽孢杆菌添加水平均为250 g/t），锰添加水平分别为0、35、70、105、170 mg/kg。试验期5周。结果表明：1）Ⅳ、Ⅴ组体重、平均日增重显著高于Ⅰ组（$P<0.05$），Ⅳ组料重比显著低于Ⅰ组（$P<0.05$）。2）Ⅳ组屠宰率、半净膛率、全净膛率和腿肌率均显著高于Ⅰ组（$P<0.05$），Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ组腹脂率显著低于Ⅰ组（$P<0.05$）。3）Ⅳ组血清总抗氧化能力显著高于Ⅰ组（$P<0.05$），Ⅳ组血清丙二醛含量显著低于Ⅰ组（$P<0.05$），Ⅳ、Ⅴ组血清谷胱甘肽过氧化物酶活性显著高于Ⅰ组（$P<0.05$）。4）各组血清碱性磷酸酶活性及甘油三酯、总胆固醇含量差异不显著（$P>0.05$）。由此可见，饲粮中添加枯草芽孢杆菌能够显著提高12～16周龄五龙鹅的生长性能、屠宰性能及抗氧化能力，显著提高锰利用率，从而降低饲粮中锰添加水平。在饲粮中添加250 g/t枯草芽孢杆菌条件下，锰适宜添加水平为70 mg/kg。

关键词：枯草芽孢杆菌；锰；鹅；生长性能；抗氧化能力；血清生化指标

中图分类号：S835　文献标识码：　　文章编号：

收稿日期：2016-04-25
基金项目：国家水禽产业技术体系专项基金(CARS-43-11)；山东省良种工程（12-1-3-17-nsh）
作者简介：任 民(1991-)，男，山东潍坊人，硕士研究生，研究方向为动物营养与保健。E-mail: 1281060752@qq.com
*通信作者：王宝维，教授，硕士生导师，E-mail: wangbw@qau.edu.cn

锰广泛存在于自然界，如土壤、矿物质、植物等部位，是机体所必需的微量元素。锰在畜禽体内有着重要的作用，是丙酮酸羧化酶、精氨酸激酶的重要组成部分，还是部分水解酶、脱羧酶、转移酶和激酶等的激活剂。锰能促进机体生长和免疫，畜禽机体内的氧化还原过程、骨骼的形成与增长、组织的呼吸、繁殖、胚胎发育、蛋壳的形成、血液的形成及内分泌器官的正常功能都离不开锰。可见，锰在家禽营养中具有不可替代的重要作用。Kemmerer 等[1]发现锰是大鼠和小鼠维持正常生长和生殖性能所必需的微量元素。Wilgus 等[2]证明锰能有效防止滑腱症，首次发现了锰对家禽的重要作用。此外，锰缺乏容易引起营养缺乏病，如骨形成障碍、骨短粗、滑腱症等。与哺乳类家畜相比，家禽对锰的需要量要高一些，但其肠道对锰的吸收率却较低，且在家禽饲粮中，玉米中锰含量很少，因此家禽更容易发生锰缺乏症[3]。随着我国养殖业的快速发展，养殖带来的环境污染问题也日益严重，逐渐被社会关注。其中由养殖带来的重金属污染是土壤污染中最突出的问题之一，重金属被生物吸收后通常在生物体内积累和转化，从而对人类和动物健康产生潜在的威胁。由于重金属污染产生积累性、不可逆性和长期性等后果，这一领域的研究一直是国内外环境科学、生态科学等领域的研究热点[4]。其中，锰就是重金属污染中一个重要的污染物质。因此，有必要对减少饲粮中锰添加水平技术进行更为深入的研究。国内外对于微生态制剂的研究已有很多，欧阳翰夫等[5]报道，乳酸杆菌产生一种抗细菌物质，可以抑制肠道内菌群的腐败产物，改善肠道环境，从而增进健康，延长寿命。Selvam 等[6]研究表明，枯草芽孢杆菌分泌的表面活性剂能抑制炎症反应的关键酶——磷脂酶 A2，进而改善结肠炎的炎症反应等。枯草芽孢杆菌作为微生态制剂的一种，可以有效地改善肠道菌群的组成，促进机体对营养物质的吸收。López 等[7]研究指出，芽孢杆菌属菌株有强大的吸附金属能力，这是因为金属离子能够与该菌细胞表面上的阴离子相互作用而被固定。Jayaraman 等[8]研究发现，枯草芽孢杆菌能够抑制由产气荚膜梭菌引起的肉仔鸡坏死性肠炎，提高肉仔鸡的肠道健康水平。迄今为止，饲粮中添加枯草芽孢杆菌对畜禽微量元素消化吸收的影响研究报道较少，枯草芽孢杆菌对锰的消化利用率的影响研究还处于空白，其对鹅屠宰性能的影响也未见报道。为此，本试验以 12～16 周龄五龙鹅（豁眼鹅）为研究对象，通过研究不同锰水平饲粮添加枯草芽孢杆菌对其生长性能、屠宰性能、抗氧化能力及血清生化指标的影响，以探索家禽饲粮中锰最低添加水平的方法。

1 材料与方法

1.1 试验动物与试验设计

选择 12 周龄健康且体重大小基本一致的五龙鹅 360 只，采用随机分配编号法，随机分为 6 个组，每组 6 个重复，每个重复 10 只鹅（公母各占 1/2）。Ⅰ组为适宜锰添加组（锰添加水平为 105 mg/kg[12]，未添加枯草芽孢杆菌）；Ⅱ～Ⅵ组为枯草芽孢杆菌添加组，锰添加水平分别为 0、35、70、105、170 mg/kg，枯草芽孢杆菌添加水平均为 250 g/t。试验

期 5 周。试验鹅由青岛农业大学优质水禽研究所育种基地提供。试验用的含 1 个结晶水的硫酸锰购自浙江新维普添加剂有限公司(有效成分为 98%)。

1.2 试验饲粮

基础饲粮营养水平参照 NRC（1994）家禽营养需要量设计配方。基础饲粮组成及营养水平见表 1。采用等离子体发射光谱仪测得基础饲粮中锰含量为 20 mg/kg。

表 1 基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis) %

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels[2]	含量 Content
玉米 Corn	61.97	代谢能 ME/（MJ/kg）	11.29
豆粕 Soybean meal	22.00	粗蛋白质 CP	16.00
鱼粉 Fish meal	1.50	粗纤维 CF	4.98
次粉 Wheat middling	4.00	钙 Ca	0.70
玉米秸秆 Corn straw	8.00	有效磷 AP	0.32
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.78	食盐 NaCl	0.38
石粉 Limestone	0.95	赖氨酸 Lys	0.82
食盐 NaCl	0.30	蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.53
微量元素 Trace elements[1]	0.20	蛋氨酸 Met	0.26
多维 Multivitamin[1]	0.30	苏氨酸 Thr	0.58
合计 Total	100.00	锰 Mn/（mg/kg)	20.00

[1] 多维和微量元素为每千克饲粮提供 The multivitamin and trace elements provided the following per kg of the diet：VA 1 500 mg，VD_3 200 IU，VE 12.5 mg，VK_3 1.5 mg，VB_1 2.2 mg，VB_2 5.0 mg，烟酸 nicotinic acid 65 mg，泛酸 pantothenate 15 mg，VB_6 2 mg，生物素 biotin 0.2 mg，叶酸 folic acid 0.5 mg，胆碱 choline 1 000 mg，Fe 85 mg，Zn 80 mg，I 0.42 mg，Se 0.3 mg，Co 2.5 mg。

[2] 锰为实测值，其他营养水平为计算值。Mn was a measured value, while the other nutrient levels were calculated values.

1.3 饲养管理

试验前对鹅舍进行全面消毒；全期采取舍饲，地面厚垫料分栏饲养；试验鹅自由饮水和采食；少添喂勤，注意观察鹅群的生长状况。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 生长性能测定

16 周龄末，分别以重复为单位对试验鹅进行空腹称重，计算 12～16 周龄的平均日增重(ADG)；每日统计饲料消耗量，计算平均日采食量(ADFI)。每天记录各组死亡及淘汰情况。结合死淘情况计算料重比(F/G)和死淘率[9]。

1.4.2 屠宰性能测定

16 周龄末，禁食 12 h，从每个重复中随机取 2 只五龙鹅，共 72 只(公母各占 1/2)，进行屠宰；按照《家禽生产性能名词术语和度量统计方法》(NY/T 823-2004)测定屠体重、半净膛重、全净膛重、腹脂重、胸肌重和腿肌重，并计算屠宰率、全净膛率、半净膛率、腹脂率、腿肌率和胸肌率 6 项屠宰性能指标。

1.4.3 血清生化指标测定

16 周龄末，从每个重复中随机取 2 只五龙鹅，共 72 只(公母各占 1/2)，翅下静脉采血 5 mL，3 000 r/min 离心 10 min，取上清液。采用碱性磷酸酶（AKP）测定试剂盒测定血清中 AKP 的活性，采用甘油三酯（TG）测定试剂盒测定血清中 TG 含量，采用总胆固醇(CHOL)测定试剂盒测定血清中 CHOL 含量，采用总抗氧化能力(T-AOC)测定试剂盒测定血清中的总抗氧化能力；采用丙二醛(MDA)测定试剂盒测定血清中的 MDA 含量；采用谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)测定试剂盒测定血清中 GSH-Px 活性。所用试剂盒均购自南京建成生物工程研究所。

1.5 统计分析

采用 SPSS 17.0 软件中单因素方差分析(one-way ANOVA)中的 LSD 法进行多重比较。试验数据以“平均值±标准差”表示。用不相关比较法(orthogonal)分析各指标随饲粮中泛酸添加水平的线性或曲线反应，采用曲线拟合法，以确定 12～16 周龄鹅添加枯草芽孢杆菌饲粮中锰的适宜添加水平。$P<0.05$ 和 $P<0.01$ 分别为差异显著和极显著水平。

2 结果与分析

2.1 不同锰水平饲粮添加枯草芽孢杆菌对五龙鹅生长性能的影响

由表 2 可知，12～16 周龄，Ⅳ、Ⅴ组体重、平均日增重显著高于Ⅰ组（$P<0.05$）；Ⅳ组料重比显著低于Ⅰ组（$P<0.05$）；各组间平均日采食量和死淘差异不显著（$P>0.05$）。

通过二次曲线率拟合和回归方程分析发现，生长性能与饲粮中锰添加水平之间的曲线拟合不具有显著性（$P>0.05$）。

由于Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ组间平均日增重、料重比、平均日采食量差异不显著（$P>0.05$），且Ⅳ组取得较高的体重、平均日增重以及较小的料重比。从最佳生长性能考虑，在饲粮中添加枯草芽孢杆菌 250 g/t 和锰 70 mg/kg 时效果最好，比锰添加水平为 105 mg/kg 的对照组效果好。

表 2 不同锰水平饲粮添加枯草芽孢杆菌对五龙鹅生长性能的影响

Table 2 Effects of dietary *Bacillus subtilis* along with different manganese levels on growth performance of *Wulong* geese

组别 Groups	体重 BW/kg	平均日增重 ADG/g	平均日采食量 ADFI/g	料重比 F/G	死淘率 Mortality rate/%
Ⅰ	3.56±0.19[bc]	17.57±0.30[b]	244.48±1.29	13.92±0.17[ab]	0.03
Ⅱ	3.46±0.19[c]	16.36±0.69[c]	231.91±5.76	14.18±0.26[a]	0.00
Ⅲ	3.93±0.11[a]	17.93±0.39[ab]	243.41±12.49	13.57±0.52[abc]	0.00
Ⅳ	4.11±0.15[a]	18.81±0.72[a]	247.28±10.04	13.14±0.12[c]	0.03

Ⅴ	4.09±0.19[a]	18.57±0.41[a]	248.91±5.80	13.41±0.54[bc]	0.00
Ⅵ	3.79±0.23[b]	18.10±0.37[ab]	248.00±3.87	13.71±0.26[abc]	0.00
P 值 *P*-value	0.005	0.001	0.137	0.044	

同列数据肩标相同小写字母或无字母表示差异不显著(*P*>0.05)，相邻小写字母表示差异显著(*P*<0.05)，相间小写字母表示差异极显著(*P*<0.01)。下表同。

In the same column, values with the same small or no letter superscripts mean no significant difference (*P*>0.05), while with adjacent small letter superscripts mean significant difference (*P*<0.05), and with alternate small letter superscripts mean significant difference (*P*<0.01). The same as below.

2.2 不同锰水平饲粮添加枯草芽孢杆菌对五龙鹅屠宰性能的影响

由表 3 可知，12～16 周龄，Ⅳ组屠宰率、半净膛率、全净膛率和腿肌率均显著高于Ⅰ组（*P*<0.05）；Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ组腹脂率显著低于Ⅰ组（*P*<0.05）；Ⅳ组的胸肌率与对照组相比有所提高，但差异不显著（*P*>0.05）。Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ组间比较，除屠宰率外各屠宰性能指标均没有显著差异（*P*>0.05）。

通过二次曲线率拟合和回归方程分析发现，屠宰性能与饲粮中锰添加水平之间的曲线拟合不具有显著性（*P*>0.05）。

以上结果表明，12～16 周龄五龙鹅，在饲粮中枯草芽孢杆菌添加水平为 250 g/t 时，锰添加水平为 70 mg/kg 时可以获得较高的屠宰性能。

表 3 不同锰水平饲粮添加枯草芽孢杆菌对五龙鹅屠宰性能的影响

Table 3 Effects of dietary *Bacillus subtilis* along with different manganese levels on slaughter performance of *Wulong* geese %

组别 Groups	屠宰率 Dressed percentage	半净膛率 Percentage of half-eviscerated yield	全净膛率 Percentage of eviscerated yield	胸肌率 Percentage of breast muscle	腿肌率 Percentage of leg muscle	腹脂率 Percentage of abdominal fat
Ⅰ	88.76±0.30[b]	79.71±0.15[bc]	76.15±0.10[bc]	12.45±0.37	11.85±0.04[b]	2.00±0.02[a]
Ⅱ	88.07±0.06[c]	78.99±0.62[c]	75.76±0.83[c]	11.93±0.15	11.77±0.26[b]	2.05±0.02[a]
Ⅲ	88.67±0.32[bc]	79.57±0.49[bc]	76.15±0.57[bc]	12.04±0.20	11.94±0.26[ab]	2.00±0.03[a]
Ⅳ	89.39±0.47[a]	80.96±1.01[a]	77.42±0.96[a]	13.04±0.61	12.22±0.14[a]	1.91±0.04[b]
Ⅴ	88.86±0.36[ab]	80.65±0.55[ab]	77.29±0.14[a]	12.67±0.59	12.20±0.02[a]	1.92±0.06[b]
Ⅵ	88.70±0.36[b]	80.07±0.71[abc]	76.97±0.44[ab]	12.75±0.47	12.05±0.04[ab]	1.93±0.04[b]
P 值 *P*-value	0.013	0.026	0.023	0.061	0.025	0.003

2.3 不同锰水平饲粮添加枯草芽孢杆菌对五龙鹅抗氧化能力的影响

由表 4 可知，12～16 周龄，Ⅱ～Ⅵ组血清 T-AOC 和 GSH-Px 活性均呈现先升高后降低趋势，血清 MDA 含量呈现先降低后升高趋势。Ⅳ组血清 T-AOC 显著高于Ⅰ组（*P*<0.05）；Ⅳ组血清 MDA 含量显著低于Ⅰ组（*P*<0.05）；Ⅳ、Ⅴ组血清 GSH-Px 活性显著高于Ⅰ组（*P*<0.05）。

通过二次曲线率拟合和回归方程分析发现，抗氧化能力与饲粮中锰添加水平之间的曲线拟合不具有显著性（*P*>0.05）。

以上结果表明，12～16 周龄，在饲粮中枯草芽孢杆菌添加水平为 250 g/t 时，锰添加水平为 70 mg/kg 能显著提高鹅血清 T-AOC，显著降低血清 MDA 含量，显著提高血清 GSH-Px 活性。

表 4 不同锰水平饲粮添加枯草芽孢杆菌对五龙鹅抗氧化能力的影响

Table 4 Effects of dietary *Bacillus subtilis* along with different manganese levels on antioxidant activity of *Wulong* geese

组别 Groups	总抗氧化能力 T-AOC/（U/mL）	丙二醛 MDA/（nmol/mL）	谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)
I	13.28±0.57^{b}	10.94±0.63^{ab}	330.68±13.49^{b}
II	11.72±0.65^{c}	12.18±0.67^{a}	308.25±15.02^{b}
III	12.87±1.11^{bc}	11.15±0.80^{ab}	336.15±10.95^{ab}
Ⅳ	15.21±0.25^{a}	9.63±0.53^{c}	355.62±13.70^{a}
V	13.53±0.91^{b}	10.24±0.65^{bc}	347.57±10.98^{a}
Ⅵ	12.90±0.99^{bc}	10.65±0.97^{bc}	344.18±13.83^{ab}
P 值 *P*-value	0.005	0.018	0.012

2.4 不同锰水平饲粮添加枯草芽孢杆菌对五龙鹅血清生化指标的影响

由表 5 可知，12～16 周龄，各组血清 AKP 活性及 TG、CHOL 含量差异不显著（$P>0.05$），但Ⅳ组血清 AKP 活性及 TG、CHOL 含量最高。

表 5 不同锰水平饲粮添加枯草芽孢杆菌对五龙鹅血清生化指标的影响

Table 5 Effects of dietary *Bacillus subtilis* along with different manganese levels on serum biochemical indices of *Wulong* geese

组别 Groups	碱性磷酸酶 AKP/（U/L）	甘油三酯 TG/（mmol/L）	总胆固醇 CHOL/（mmol/L）
I	247.13±2.21	1.54±0.02	15.46±0.23
II	244.31±2.27	1.53±0.02	15.36±0.20
III	247.46±3.49	1.55±0.02	15.46±0.09
Ⅳ	251.13±2.71	1.56±0.03	15.62±0.04
V	250.90±6.05	1.55±0.02	15.56±0.07
Ⅵ	248.79±4.98	1.54±0.01	15.45±0.1
P 值 *P*-value	0.324	0.460	0.331

3 讨 论

3.1 不同锰水平饲粮添加枯草芽孢杆菌对五龙鹅生长性能的影响

锰主要参与机体脂肪、糖类、蛋白质等多种物质的代谢，可以促进动物的生长，增强动物的繁殖性能。朱玉琴等[10]研究表明，肉仔鸡饲粮添加 120 mg/kg 锰时，料重比最低。张雪君等[11]报道，5～16 周龄时，饲粮添加 90～120 mg/kg 锰可显著提高五龙鹅平均日增重，降低料重比。枯草芽孢杆菌是我国农业部公布的 12 种可直接饲喂动物的饲料级微生物添加剂之一，对提高动物生长性能、饲料转化率等效果明显[12-13]。Hooge 等[13]研究证实，枯草芽孢杆菌制剂对肉鸡、肉鹅具有促生长作用。Maneewan 等[14]研究发现，与对照组相比，枯草芽孢杆菌能够提高 1～28 日龄仔猪的平均日增重，减少肠道中大肠杆菌和沙门氏菌数量，降低腹泻率。Molnár 等[15]研究发现，枯草芽孢杆菌能够增加肉仔鸡的平均日增重，提

高饲料转化率。本研究结果表明，枯草芽孢杆菌添加组在锰添加水平为 70 mg/kg 时平均日增重最大，说明在饲粮添加 250 g/t 枯草芽孢杆菌的情况下可以减少鹅饲粮中锰的添加水平。

3.2 不同锰水平饲粮添加枯草芽孢杆菌对五龙鹅屠宰性能的影响

屠宰性能指标是从表观上反映营养物质在不同组织及同一组织的不同部位中沉积量差异的一组指标，而影响沉积量的因素很多。张雪君等[11]报道，饲粮添加锰有提高五龙鹅腿肌率和降低腹脂率的趋势。陈仲建等[16]研究报道，添加 100 mg/kg 锰有提高肉鸡腿肌率，降低腹脂率的趋势。Lu 等[17]报道，饲粮添加 100 mg/kg 锰可降低肉鸡苹果酸脱氢酶(MDH)和脂蛋白脂肪酶（LPL）活性，增加激素敏感脂酶活性，饲粮中添加锰可以通过调整这些酶活性从而降低脂肪的合成和增加脂肪的分解作用，进而影响腹脂沉积。

本试验结果表明，当枯草芽孢杆菌添加组锰的添加水平为 70 mg/kg 时可显著提高五龙鹅的屠宰率、半净膛率、全净膛率和腿肌率，说明低锰饲粮添加枯草芽孢杆菌可以显著提高鹅屠宰率、半净膛率、全净膛率和腿肌率。枯草芽孢杆菌对锰吸收的影响和屠宰性能机理还有待进一步研究。

3.3 不同锰水平饲粮添加枯草芽孢杆菌对五龙鹅抗氧化能力的影响

家禽代谢旺盛，易产生很多自由基，尤其是在规模化养殖条件下，易受各种不良环境的应激影响，因而更易使体内自由基的平衡状态受到破坏，对疫病的易感性增加。因此，与哺乳动物相比，肉鸭需要更为强大的抗氧化体系来清除体内易过多积累的自由基，以维持体内自由基的稳定和平衡，从而维持其健康和正常生长。其中锰与家禽的抗氧化能力有密切关系，锰的供给有特殊的重要性[18]。锰是超氧化物歧化酶(SOD)活性组成成分，同时也会影响组织非酶抗氧化蛋白的生成。动物锰的营养状况影响机体组织的抗氧化状况[19]。

T-AOC 是用于衡量机体抗氧化系统功能状况的综合性指标，体现了体内多种抗氧化酶共同作用的效果，T-AOC 的高低可以直接反映出机体面对外来刺激时抗氧化酶系统和非酶系统的应对能力[20]。。MDA 是体内脂质过氧化反应的产物，主要由体内酶系统与非酶系统产生的自由基与细胞膜上的不饱和脂肪酸共同反应产生，可直接反映机体内氧化自由基的水平以及细胞被攻击损伤的程度。GSH-Px 是机体内广泛存在的一种重要的过氧化物分解酶，是机体抗过氧化能力指标之一[21]。本试验结果表明，在饲粮中枯草芽孢杆菌添加水平为 250 g/t 时，锰添加水平为 70 mg/kg 能显著提高鹅血清 T-AOC，显著降低 MDA 含量，显著提高 GSH-Px 活性，与上述研究结果一致；这说明低锰饲粮添加枯草芽孢杆菌与家禽的抗氧化能力有密切关系。

3.4 不同锰水平饲粮添加枯草芽孢杆菌对五龙鹅血清生化指标的影响

TG 与动物生长发育及免疫系统有关，其含量变化反映了体内膜类代谢情况。罗绪刚等[22]研究表明，机体为了弥补缺锰时血液胆固醇含量的下降而自动调节脂蛋白的分解，而来自被分解脂蛋白的 TG 使得血清中的 TG 含量得以提高。胆固醇是细胞膜成分，血液中的胆

固醇一部分到组织中构成细胞结构成分，另一部分转变为重要的固醇衍生物维生素 D_3，促进钙的吸收或类固醇激素代谢。丁保安等[23]研究表明，体外肝细胞培养时锰能促进 ^{14}C 标记的乙酸合成胆固醇，锰是甲羟戊酸激酶的辅助因子，锰缺乏使甲羟戊酸激酶活性受到抑制，从乙酸盐到甲羟戊酸之间有 2 个部位需要锰离子(Mn^{2+})，焦磷酸合成酶需要 Mn^{2+}，焦磷酸酯合成受阻会抑制鲨烯的产生而使胆固醇合成受阻。缺锰时，胆固醇及其前体合成受阻，从而引起性激素合成障碍。Curran 等[24]研究表明，锰能刺激胆固醇的合成，可提高大鼠肝脏内胆固醇的生成量。本试验结果表明，随饲粮锰添加水平的升高，血清 AKP 活性及 TG、CHOL 含量呈现先升高后降低的趋势，在饲粮中枯草芽孢杆菌添加水平为 250 g/t 时，锰添加水平为 70 mg/kg 时血清 AKP 活性及 TG、CHOL 含量最高。

4 结 论

① 饲粮中添加枯草芽孢杆菌能够显著提高生长性能、屠宰性能及抗氧化能力。

② 在饲粮中添加 250 g/t 枯草芽孢杆菌条件下，锰适宜添加水平为 70 mg/kg。

参考文献：

[1] KEMMERER A R,ELVEHJEM C A,HART E B.Studies on the relation of manganese to the nutrition of the mouse[J].The Journal of Biological Chemistry,1931,92(3):623–630.

[2] WILGUS H S,Jr,NORRIS L C,HEUSEE G F.The role of manganese and certain other trace elements in the prevention of perosis[J].The Journal of Nutrition,1937,14(2):155–167.

[3] 王宝维.中国鹅业[M].济南:山东科学技术出版社,2009:374–681.

[4] BENTLEY O G,PHILLIPS P H.The effect of low manganese rations upon dairy cattle[J].Journal of Dairy Science,1951,34(5):396–403.

[5] 欧阳翰夫.微量元素过量对动物的影响及预防[J].中国饲料,1999(15):28–29.

[6] SELVAM R,MAHESWARI P,KAVITHA P,et al.Effect of *Bacillus subtilis* PB6,a natural probiotic on colon mucosal inflammation and plasma cytokines levels in inflammatory bowel disease[J].Indian Journal of Biochemistry & Biophysics,2009,46(1):79–85.

[7] LÓPEZ A,LÁZARO N,MORALES S,et al.Nickel biosorption by free and immobilized cells of *Pseudomonas fluorescens* 4F39:a comparative study[J].Water,Air and Soil Pollution,2002,135(1):157–172.

[8] JAYARAMAN S,THANGAVEL G,KURIAN H,et al.*Bacillus subtilis* PB6 improves intestinal health of broiler chickens challenged with *Clostridium perfringens*-induced necrotic enteritis[J].Poultry Science,2013,92(2):370–374.

[9] 王璐,易路,王波,等.家禽料重比不同测定方法的比较研究[J].中国家禽,2015,37(17):31–34.

[10] 朱玉琴,索爱萍.0～4 周龄肉仔鸡不同锰源锰需要量的研究[J].畜牧兽医学报,1998,29(2):121–127.

[11] 张雪君,王宝维,葛文华,等.锰对 5～16 周龄五龙鹅生长性能、屠宰性能、营养物质利用率及酶活性的影响[J].动物营养学报,2014,26(1):106–114.

[12] WU L Y,TAN R B,SHI K J.Effect of a dried Bacillus subtilis culture on gosling growth performance[J].British Poultry Science,2008,49(4):418–422.

[13] HOOGE D M,ISHIMARU H,SIMS M D.Influence of dietary *Bacillus subtilis* C-3102 spores on live performance of broiler chickens in four controlled pen trials1[J].The Journal of Applied Poultry Research,2004,13(2):222–228.

[14] MANEEWAN C,YAMAUCHI K,THIRABUNYANON M,et al.Development of *Bacillus subtilis* MP and effective utilization on productivity and microorganisms in feces of suckling piglets[J].The International Journal of Applied Research in Veterinary Medicine,2011,9(4):382–387.

[15] MOLNÁR A K,PODMANICZKY B,KÜRTI P,et al.Effect of different concentrations of *Bacillus subtilis* on growth performance,carcase quality,gut microflora and immune response of broiler chickens[J].British Poultry Science,2011,52(6):658–665.

[16] 陈仲建,吕林,罗绪刚,等.不同锰源对肉仔鸡生长性能、胴体性能和血清生化指标的影响[J].营养饲料,2010,46(13):35–38.

[17] LU L,LUO X G,JI C,et al.Effect of manganese supplemention and source on carcass traits,meat quality,and lipid oxidation in broilers[J].Journal of Animal Science,2006,85(3):812–822.

[18] 罗绪刚,苏琪,黄俊纯,等.肉仔鸡实用饲粮中锰适宜水平的研究[J].畜牧兽医学报,1991,22(4):313–317.

[19] LEE M,HYUN D H,MARSHALL K A,et al.Effect of overexpression of Bcl-2 on cellular oxidative damage,nitric oxide production,antioxidant defenses,and the proteasome[J].Free Radical Biology and Medicine,2001,31(12):1550–1559.

[20] 张金龙,徐丽丽,李艳飞.雏鸡脑软化症免疫组织的氧化和抗氧化特性[J].中国畜牧兽医,2007,34(2):42–44.

[21] 张洪斌.谷胱甘肽和维生素 E、C 与自由基[J].新疆师范大学学报:自然科学版,1999,18(3):73–77.

[22] 罗绪刚,苏琪,黄俊纯,等.实用饲粮中锰的添加水平对肉用仔鸡组织中其他矿物元素浓度的影响[J].中国动物营养学报,1991,3(1):17–20.

[23] 丁保安,呙于明,罗绪刚.蛋鸡锰营养研究进展[J].四川畜牧兽医,1999,26(9):21–22.

[24] CURRAN G L,AZARNOFF D L.Effect of certain transition elements on cholesterol biosynthesis[J].Federation Proceedings,1961,20(3):109–111.

Effects of Dietary *Bacillus subtilis* Along with Different Manganese Levels on Growth

Performance, Slaughter Performance, Antioxidant Activity and Serum Biochemical Indices of *Wulong* Geese Aged from 12 to 16 Weeks

REN Min WANG Baowei* GE Wenhua ZHANG Ming'ai YUE Bin ZHENG Huiwen ZHANG Yangyang ZHANG Zenan

(Nutrition and Feed Laboratory of China Agriculture Research System Qingdao, Institute of High Quality Waterfowl, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, *China)*

Abstract: This study investigated the effects of *Bacillus subtilis* along with different levels of manganese on growth performance, slaughter performance, antioxidant activity and serum biochemical indices of *Wulong* geese aged from 12 to 16 weeks, and aimed to find a method of producing diet with low manganese supplemental level. A total of 360 twelve-week-old *Wulong* geese were randomly divided into 6 groups of 6 replicates per group and 10 geese per replicate (half male and half female). The geese in group Ⅰ were fed a diet with an optimal supplemental level of manganese (105 mg/kg, *Bacillus subtilis* was not added), whereas the geese in groups Ⅱ to Ⅵ were fed diets with 250 g/t *Bacillus subtilis* and supplemented with 0, 35, 70, 105 and 170 mg/kg manganese, respectively. The experiment lasted for 5 weeks. The results showed as follows: 1) the body weight and average daily gain in groups Ⅳ and Ⅴ were significantly higher than those in group Ⅰ (P<0.05), the ratio of feed to gain in group Ⅳ was significantly lower than that in group Ⅰ (P<0.05). 2) The dressed percentage, percentages of half-eviscerated yield, percentages of eviscerated yield and percentages of leg muscle in group Ⅳ were significantly higher than those in group Ⅰ (P<0.05), whereas the percentage of abdominal fat in groups Ⅳ, Ⅴ and Ⅵ was significantly lower than that in group Ⅰ (P<0.05). 3) The serum total antioxidant capacity in group Ⅳ was significantly higher than that in group Ⅰ (P<0.05). The serum malonaldehyde content in group Ⅳ was significantly lower than that in group Ⅰ (P<0.05). The serum glutathione peroxidase activity in groups Ⅳ and Ⅴ was significantly higher than that in group Ⅰ (P<0.05). 4) There were no significant differences in alkaline phosphatase activity and the contents of triglyceride and total cholesterol in serum among all groups (P>0.05). In conclusion, adding

Bacillus subtilis into the diet can promote growth performance, slaughter performance, antioxidant activity of *Wulong* geese aged from 12 to 16 weeks, significantly increase the availability of manganese, and reduce the dietary supplemental level of manganese. The optimal supplemental level of manganese is 70 mg/kg under dietary supplementation with 250 g/t *Bacillus subtilis*.

Key words: *Bacillus subtilis*; manganese; geese; growth performance; antioxidant activity; serum biochemical indices

---

*Corresponding author, professor, E-mail: wangbw@qau.edu.cn （责任编辑　武海龙）